

Тема: Зубообработка (метод копирования, метод обката). Шлифование (инструмент, оборудование)

Задание для студентов

1. Ознакомиться с теоретическим материалом
2. Составить конспект лекции (объем 5-6 страниц).
3. Ответить на контрольные вопросы в **письменном** виде
4. Предоставить **конспект лекции и ответы** на контрольные вопросы в электронном виде на проверку.

С уважением, *Гнатюк Ирина Николаевна.*

При необходимости вопросы можно задать по телефону: 072-136-54-46

Работы отправлять на электронную почту ira.gnatyuk.60@inbox.ru

ЛЕКЦИЯ

План

1. Зубообработка
 - 1.1 Параметры зубчатого колеса
 - 1.2 Нарезание зубчатых колес методом копирования
 - 1.3 Нарезание зубчатых колес методом обкатки
 - 1.4 Конструкция червячной зуборезной фрезы
 - 1.5 Отделочные операции зубообработки
2. Шлифование
 - 2.1. Особенности шлифования
 - 2.2. Схемы обработки при шлифовании
 - 2.3. Обработка заготовок на круглошлифовальных станках
 - 2.4. Обработка заготовок на плоскошлифовальных станках
 - 2.5. Обработка заготовок на внутришлифовальных станках
 - 2.6. Бесцентровое круглое наружное шлифование
 - 2.7. Элементы режима резания при шлифовании
 - 2.8. Силы резания при шлифовании
 - 2.9. Конструкции абразивных инструментов

1. Зубообработка

1.1 Параметры зубчатого колеса

Главным параметром для передачи считается модуль m . Это число показывает, какая часть диаметра делительной окружности приходится на один зуб.

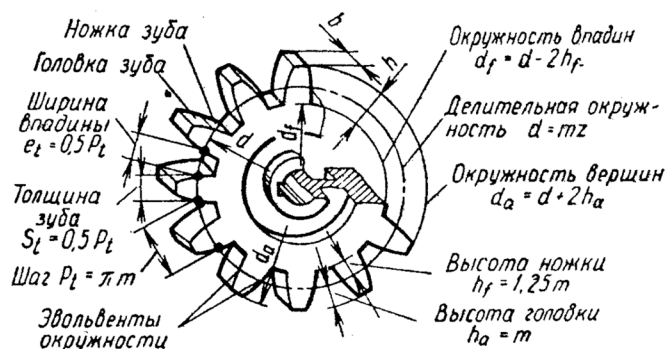


Рисунок 1 - Основные размеры зубчатого колеса и передачи

Делительными окружностями пары зубчатых колес называют соприкасающиеся окружности, катящиеся одна по другой без скольжения, диаметр делительной окружности – d .

Шаг зацепления P_t – расстояние между одноименными профильными поверхностями (выполненными по кривой, называемой эвольвентой) соседних зубьев, измеренное по дуге делительной окружности в миллиметрах. Шаг равен длине делительной окружности, деленной на число зубьев z . Длина делительной окружности равна шагу, умноженному на число зубьев. Отсюда получим равенство, из которого можно найти диаметр делительной окружности $\pi d = P_t z$ из него можно определить диаметр делительной окружности: $d = P_t z / \pi = mz$

где m – модуль зубчатого зацепления.

Делительная окружность (поверхность) делит зуб на головку и ножку.

Высота головки h_a – расстояние между делительной окружностью колеса и окружностью вершин (выступов) зубьев; $h_a = m$.

Высота ножки h_f – расстояние между делительной окружностью колеса и окружностью впадин; $h_f = 1,25 m$. Полная высота зуба $h = m + 1,25 m = 2,25 m$.

Для получения этих профилей используют два принципиально различных метода формообразования: копирования и обката.

При методе копирования применяют инструменты, профиль режущей кромки которых совпадает с профилем впадины и при обработке копируется на заготовке. При методе обката профиль режущей кромки отличается от профиля впадины, которая получается как огибающая нескольких последовательных положений инструмента.

1.2. Нарезание зубчатых колес методом копирования

К инструментам, работающим по методу копирования, относятся дисковые и пальцевые модульные фрезы в единичном производстве, зуборезные головки и протяжки в массовом производстве.

Дисковые модульные фрезы (рисунок 2, а) — это фасонные фрезы с затылованными зубьями. Их основное преимущество в том, что они позволяют обрабатывать прямозубые и косозубые зубчатые колеса на универсальных фрезерных станках, а также нарезать крупномодульные колеса. Обработку крупномодульных колес выполняют за два рабочих хода: черновой (подготовительный) и чистовой.

Чистовую обработку выполняют, имея небольшой припуск чистовыми цельными фрезами, изготовленными из быстрорежущих сталей повышенной производительности Р9К5, Р9К10, Р10К5Ф5 по ГОСТ 19265—73.

Пальцевые модульные фрезы (рисунок 2, б) используют для нарезания крупномодульных прямозубых, косозубых и шевронных колес. Чистовые пальцевые фрезы выполняют с затылованными зубьями затачиваемыми по передней поверхности. Черновые пальцевые фрезы для улучшения условий резания имеют канавки на режущих зубьях для дробления стружки. Режущую часть пальцевых модульных фрез изготавливают из легированных и быстрорежущих сталей типа Р6М5.

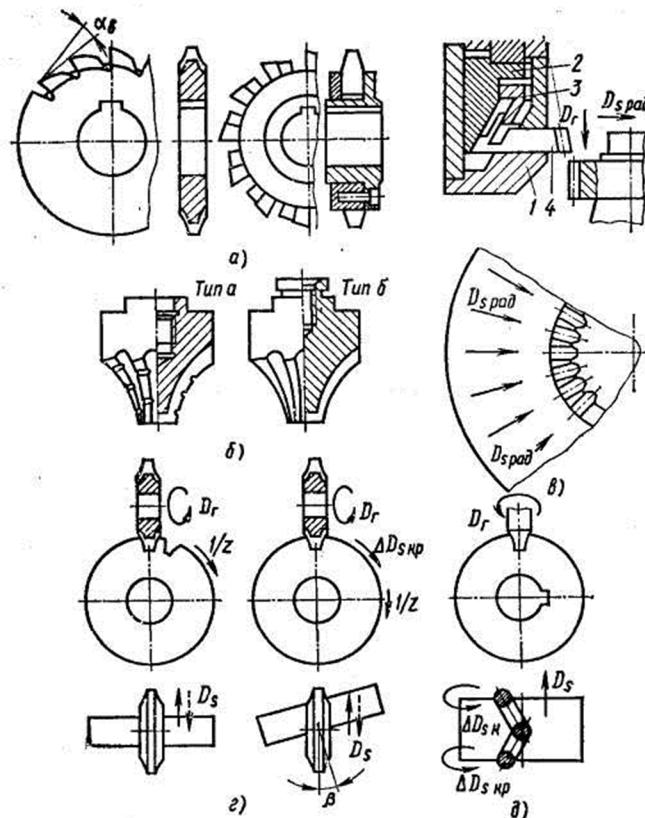


Рисунок 2 - Схемы обработки и инструменты, работающие по методу копирования

При нарезании зубчатых колес дисковыми и пальцевыми модульными фрезами главное движение резания сообщается (рисунок 2, з, д) инструменту, а движения подачи — заготовке, установленной в делительном приспособлении на столе станка. Направление движения подачи при обработке прямозубых колес совпадает с направлением зуба.

Зуборезные (зубодолбежные) головки (рисунок 2, б) представляют собой сложное устройство, в корпусе 1 которого установлены специальные резцы 4, перемещаемые в радиальном направлении сводящим 2 (при рабочем ходе) и разводящим 3 (при вспомогательном ходе) кольцами. Резцы головки, по своему числу и профилю режущей кромки, совпадающие с числом и профилем впадин колеса, в процессе обработки постепенно подаются к центру колеса, обеспечивая одновременное нарезание всех зубьев.

1.3. Нарезание зубчатых колес методом обкатки

При нарезании по методу обката цилиндрических колес в процессе обработки имитируется зацепление воображаемого зубчатого колеса или рейки с нарезаемым колесом-заготовкой. Роль воображаемого зубчатого колеса выполняет инструмент — зуборезный долбяк, а роль рейки — зуборезные гребенки или червячные модульные фрезы.

Зуборезные долбяки представляют собой эвольвентные колеса, прямые или винтовые, зубья которых изготовлены в виде режущих элементов. Эти элементы у прямозубых долбяков (рисунок 3, б) ограничены передней конической поверхностью и задними поверхностями, две из которых эвольвентные, а третья коническая.

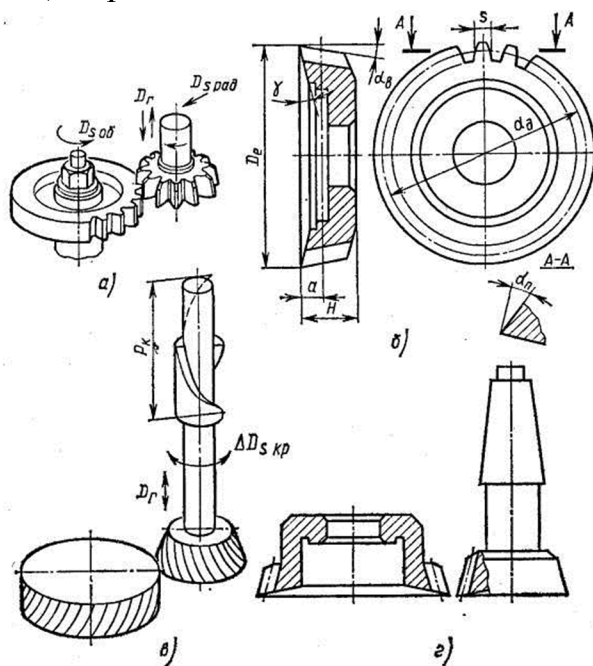


Рисунок 3 – Схема работы и конструкция зуборезных долбяков

Размеры долбяка оказывают влияние на конструкцию (рисунок 3,з) его крепежной части, которую у мелко модульных долбяков выполняют в виде хвостовика, а у крупномодульных — в виде посадочного отверстия в диске, чашке или втулке, на периферии которых выполнены режущие зубья. Материалом для изготовления долбяков служат быстрорежущие стали.

Главным движением резания при зубодолблении является поступательное перемещение долбяка, состоящее из рабочего (см. рисунок 3,а) хода, при котором срезается стружка, и вспомогательного хода, при котором заготовка для устранения трения отводится от долбяка. Движениями подачи являются: радиальное врезание $D_{с\text{рад}}$ долбяка на высоту зуба и обкат долбяка и заготовки. При нарезании колес с винтовым зубом (см. рисунок 3,в) используемый косозубый долбяк, винтовые линии зубьев которого противоположны направлению зубьев нарезаемого колеса, совершает главное движение резания по винтовой линии.

Долбяками нарезают прямозубые и косозубые колеса внешнего и внутреннего зацепления, а также шевронные колеса. Точность обработки при зубодолблении соответствует 6—7-й степени при $Rz = 15 \dots 30$ мкм.

Зуборезная гребенка представляет собой прямозубую или косозубую рейку, зубья которой превращены путем заточки в резцы (рисунок 4). Прямозубые гребенки используют для нарезания цилиндрических колес, а косозубые — для нарезания шевронных колес, причем такими гребенками можно нарезать шевронные колеса без канавки (см. рисунок 4, б).

Различают гребенки для предварительного (чернового) и для чистового нарезания. Гребенки для чистового нарезания имеют несколько большую ширину зуба. Рабочую часть гребенок выполняют из быстрорежущей стали, а крепежную, привариваемую к рабочей части, — из стали 45 или 40Х.

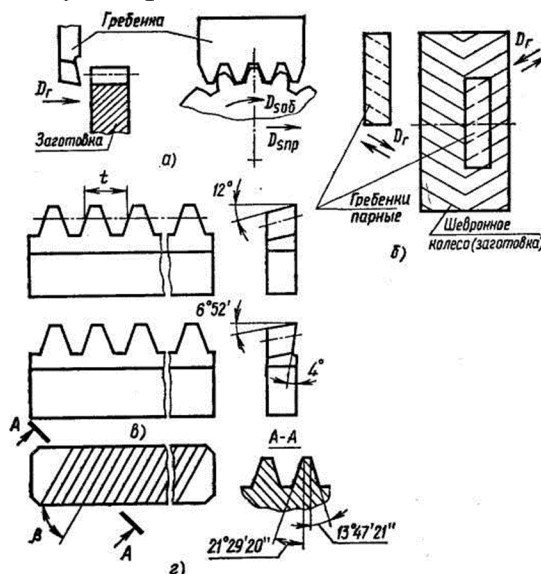


Рисунок 4 – Схемы работы и конструкция зуборезных гребенок

В процессе обработки нарезаемое колесо своей начальной окружностью обкатывается по начальной прямой гребенки (см. рис. 4,а).

Главное движение резания — возвратно-поступательное перемещение — получает гребенка, которая при рабочем ходе снимает стружку, а при вспомогательном ходе для уменьшения трения она отводится от заготовки. Движение обката (движение подачи) складывается из медленного вращения заготовки и связанного с ним поступательного перемещения гребенки вдоль начальной прямой. Число рабочих ходов гребенки, а следовательно, и толщина срезаемого слоя при нарезании одной впадины зависят только от скорости движения обката.

По точности изготовления все гребенки делят на два класса: класс А — для нарезания колес 8-й степени точности и класс В — для нарезания колес 9-й степени точности.

1.4. Конструкция червячной зуборезной фрезы

Червячная зуборезная фреза может быть представлена в виде совокупности закрепленных на цилиндрической поверхности гребенок либо в виде червяка, витки которого превращены в режущие зубья прорезанием поперечных канавок так, что на них образуются передние углы, и затылованием зубьев для получения задних углов.

Основой профиля стандартных червячных фрез является конволютный червяк, витки которого в сечении, нормальном к направлению витка, имеют прямолинейный профиль исходной зубчатой рейки (рисунок 5,б). Профиль исходной рейки характеризуется углом профиля, шагом зубьев, расчетной высотой зуба и его головки, а также толщиной зуба фрезы по нормали

По назначению различают червячные фрезы для нарезания цилиндрических прямозубых и косозубых колес, для обработки червячных колес, шлицевых валов, звездочек и т. д. По конструкции червячные фрезы бывают цельными и сборными, могут закрепляться на оправках (насадках) или с помощью хвостовиков.

Предварительную обработку выполняют черновыми червячными фрезами, у которых передний угол $\gamma = 5 \dots 7^\circ$, а толщина зуба меньше, чем у чистовых фрез на величину, равную припуску. Окончательную обработку осуществляют чистовыми фрезами с $\gamma = 0^\circ$ и размерами по ГОСТ 9324—80Е.

Для прецизионной обработки выпускают особо точные фрезы класса точности ААА, выполняемые обычно с увеличенным диаметром. Между классом точности фрез и классом точности нарезаемых колес существует соотношение: классы точности фрезы ААА, АА, А, В, С соответствуют классам точности колеса 5—6, 7, 8, 9, 10.

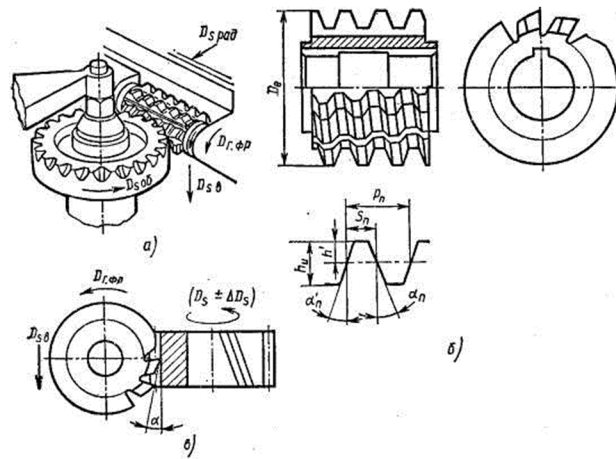


Рисунок 5 – Схема работы и конструкция червячной фрезы

У фрез со шлифованным профилем необходимо делать двойное затылование. Для обеспечения благоприятных условий резания при зубонарезании затылование на вершинах зубьев необходимо выполнять с $\alpha_e = 10...12^\circ$, что позволит обеспечить задние углы на боковых сторонах зубьев $\alpha_e = 2...3^\circ$.

При нарезании прямозубых и косозубых колес червячными модульными фрезами имитируется зацепление обрабатываемого колеса с червяком, роль которого выполняет червячная фреза. За главное движение резания принимают вращение фрезы, частоту которого для создания движения обката согласуют с вращением заготовки так, чтобы за время одного оборота фрезы заготовка повернулась на k/z_3 — часть оборота, где k — число заходов червячной фрезы. Для радиального врезания фрезы в заготовку и нарезания зубьев по всей ее высоте фрезе соответственно сообщают радиальное движение подачи $D_{спад}$ и вертикальное движение подачи $D_{св}$, направленное вдоль оси нарезаемого колеса.

При черновом зубофрезеровании расстояние, на которое перемещается фреза в радиальном направлении, выбирают обычно таким, чтобы всю обработку выполнить за один рабочий ход. Чистовое зубонарезание выполняют за несколько рабочих ходов, последний из которых проводится с радиальным припуском 0,10—0,15 мм, обеспечивая при этом шероховатость $Ra = 6,3...0,8$ мкм.

В зависимости от направления подач и $D_{св}$ относительно скорости резания различают попутное и встречное зубофрезерование.

Конические зубчатые колеса нарезают строганием по копиру, обработкой профильными инструментами или методами обката. Находят применение также комбинированные методы, в которых, например, сочетается врезание в заготовку двух спаренных дисковых фрез с последующим обкатом. Но наиболее широкое распространение получили методы обката, при реализации которых на станках имитируется зацепление

нарезаемого колеса с воображаемым производящим (плоским или плосковершинным) колесом.

В большинстве случаев нарезание конических колес проводится за два рабочих хода — черновой и чистовой. Сначала нарезают впадины черновыми резцами, причем в некоторых случаях даже без движения обката, а затем, заменив резцы на чистовые, проводят чистовое нарезание с обкатом.

В качестве режущего инструмента при нарезании конических прямозубых колес используют строгальные резцы, которые, будучи установленными на станке, своими режущими кромками образуют как бы стороны зуба производящего колеса.

1.5. Отделочные операции зубообработки

Для устранения погрешностей, возникающих при зубонарезании и последующей термообработке, зубчатые колеса дополнительно обрабатывают отделочными методами: шевингованием, обкаткой, притиркой и шлифованием.

Шевингование представляет собой срезание тонких стружек (толщиной 5—15 мкм) специальным инструментом — шевером с боковых поверхностей зубьев колес невысокой твердости ($HRC < 40$), предварительно нарезанных зубофрезерованием или зубодолблением. Срезание стружек происходит в результате взаимодействия зубьев обрабатываемого колеса с режущими кромками, выполненными на боковых поверхностях зубьев шевера. Это взаимодействие зубьев колеса с зубьями шевера проявляется в их относительном проскальзывании, скорость которого принимается за скорость резания при шевинговании. Так, для шевингования прямозубых колес используют косозубый шевер (с β равным $5...15^\circ$) и, наоборот, для косозубых колес — прямозубый шевер. При таком зацеплении оси колеса и шевера скрещиваются под углом $\Phi_{окр}$, который влияет на скорость проскальзывания и составляет $10—15^\circ$. Скорость резания при шевинговании может обеспечиваться также механизмом шевинговального станка. При обработке шеверу сообщается вращение, а обрабатываемому колесу — поступательное движение, направленное в зависимости от схемы шевингования вдоль или под углом к оси колеса либо в плоскости, параллельной оси шевера в направлении, перпендикулярном оси колеса или шевера. После каждого продольного хода производится периодическое включение радиального движения подачи D_{sma} осей шевера и колеса до получения нужной толщины зуба, затем выполняются рабочие ходы без радиального движения подачи (выхаживание).

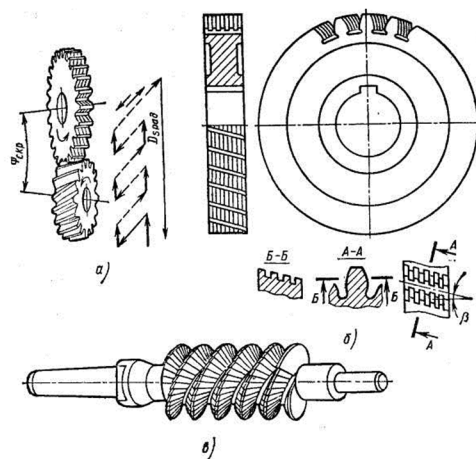


Рисунок 6 – Схема зубошевингования и конструкция дискового и червячного шевера

Конструктивно шевер выполняют в виде корригированного зубчатого колеса (шевер дисковый по ГОСТ 8570—80Е классов точности *A* и *B*) или рейки, на боковых поверхностях зубьев которых прорезаны канавки, образующие своими гранями режущие кромки. Преимущественное распространение в крупносерийном и массовом производстве получили дисковые шеверы (рис. 6, б). Шевер-рейка состоит из отдельных зубьев, собранных и закрепленных на общей стальной планке.

Шевингованию подвергают не только колеса внешнего зацепления, но и колеса с внутренними зубьями.

При шевинговании удастся снизить погрешность профиля, шага, волнистость, уменьшить колебание межцентрового расстояния, улучшить пятно контакта, снизить параметр шероховатости и шум. Шевингованием можно достичь 6—7-й степени точности и шероховатость поверхности $Ra=1,0...2,5$ мкм. Шевингование может быть также использовано для модификации зубьев (получения бочкообразного и фланкированного зуба).

Для обработки червячных колес находит применение червячный шевер (рисунок 6, в), представляющий собой червячную фрезу с мелкими зубьями на винтовой поверхности и являющийся точной копией червяка.

Материалом для изготовления шеверов является быстрорежущая сталь с твердостью 62—65 HRC. Повторная заточка шеверов производится шлифованием боковых поверхностей зубьев на зубошлифовальных станках и шлифованием по наружной поверхности вершин.

Шлифованием обрабатывают зубчатые колеса с целью повышения их точности и устранения искажений, возникающих после термообработки. Зубчатые колеса, обработанные шлифованием, соответствуют 5—7-й степени точности и имеют $Ra = 0,4...1,25$ мкм. Столь высокая точность и параметр шероховатости зубчатых колес, достигаемые зубошлифованием, заставляют

мириться с явными недостатками этого метода: низкой производительностью, сложностью и дороговизной станков.

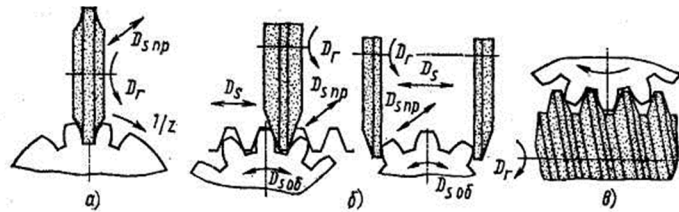


Рисунок 7 – Схемы зубошлифования

При шлифовании зубчатых колес используются методы копирования и методы обката. Шлифование по методу копирования проводится шлифовальным кругом, рабочие поверхности которого периодически подвергают правке для получения эвольвентного профиля алмазными карандашами по шаблону (рисунок 7,а). Одновременно с быстрым вращением (скорость резания) круг совершает движение подачи, направленное вдоль зуба

При зубошлифовании по методу обката в большинстве случаев имитируется зацепление обрабатываемого колеса с рейкой, реально представленной боковыми поверхностями шлифовальных кругов. При этом главным (рисунок 7,б) движением является быстрое (25... 30 м/с) вращение круга, а движениями подачи - возвратно-поступательное перемещение круга, перемещение круга вдоль зуба и его радиальное перемещение на заготовку.

Припуск, удаляемый при шлифовании, обычно не превышает 0,15—0,80 мм на толщину зуба.

В отличие от цилиндрических колес зубошлифование конических колес сопровождается значительными сложностями, а потому и используется только для быстроходных передач ($v > 25$ м/с), во всех остальных случаях в качестве отделочных операций применяют притирку и обкатку.

Притирка закаленных и незакаленных зубчатых колес является отделочной операцией, при которой обрабатываемое колесо зацепляется с чугунной шестерней-притиром в среде суспензии (веретенное масло и абразивный порошок зернистостью 180-220). Для интенсификации притирки шестерню-притир, получающую вращение от обрабатываемого колеса, устанавливают так, что оси притира и колеса скрещиваются, образуя плотное зацепление. Равномерная притирка по всей длине зуба обеспечивается дополнительным возвратно-поступательным движением колеса или притира вдоль зуба. В результате снижается шероховатость боковых поверхностей зубьев, улучшаются условия контакта, снимается припуск 0,01-0,02 мм на сторону, длительность процесса 1-1,5 мин.

Обкатка представляет собой отделочный процесс, при котором изготовленное с высокой точностью инструментальное колесо высокой

твердости зацепляется с обрабатываемым колесом и при вращении получает дополнительное радиальное перемещение на заготовку. Для устранения возможных при обработке заеданий в зону контакта колес подается противозадирная смесь (минеральное масло со свинцовым суриком). В процессе обкатки происходит смятие микронеровностей до $Ra=0,2...0,6$ мкм, упрочнение поверхностного слоя и улучшение показателей плавности зацепления. Обкатка наиболее эффективна для колес, изготовленных из весьма пластичных металлов.

2. Шлифование

2.1. Особенности шлифования

Шлифование является одним из производительных методов обработки различных поверхностей. Обработка осуществляется абразивным инструментом (шлифовальные круги, бруски, сегменты, шкурки и т. п.), абразивные зерна которых являются режущими элементами. Абразивные зерна в инструменте закреплены связующим компонентом — связкой с обязательным наличием пор (рисунок 8).

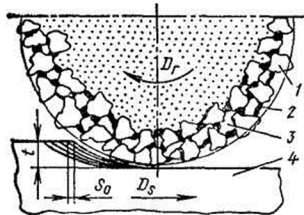


Рисунок 8 – Схема срезания припуска при шлифовании и конструктивные особенности абразивного инструмента:

1 – зерна, 2 – связка, 3 – поры, 4 – заготовка

Особенностью шлифования является одновременное микрорезание несколькими зернами, каждое из которых имеет два-три режущих лезвия и более, у каждого режущего лезвия свои угловые параметры. Передний угол режущих лезвий зерен часто бывает отрицательный. Радиус округления режущих кромок абразивных зерен близок к нулю. Зерна, закрепленные связкой в инструменте, находятся на различном уровне, и чем меньше толщина срезаемого слоя, тем меньше зерен участвует в резании. Абразивный инструмент, как и любой лезвийный инструмент, нуждается в периодической заточке (правке) по мере затупления, разрушения режущих элементов, потери геометрической формы.

2.2. Схемы обработки при шлифовании

В современном машиностроении шлифованию подвергают различные

поверхности деталей машин: плоские, цилиндрические, фасонные, внутренние, наружные и т. п. Наиболее часто обрабатывают поверхности деталей, имеющих ось вращения (валы, втулки, резьбы и др.), а также плоские поверхности (плоскости, уступы, пазы и др.). Существуют различные схемы шлифования этих поверхностей. Для всех способов шлифования главным движением резания является вращательное движение шлифовального круга D_r , а движение подачи D_s совершает заготовка.

2.3.Обработка заготовок на круглошлифовальных станках

На круглошлифовальных станках обрабатывают наружные поверхности заготовок тел вращения с прямолинейными образующими. Для установки и зажима заготовок в станке используют центровые отверстия и цилиндрические. При наружном круглом шлифовании возвратно-поступательное продольное движение (рисунок 9) подачи осуществляется столом с закрепленной на нем заготовкой.

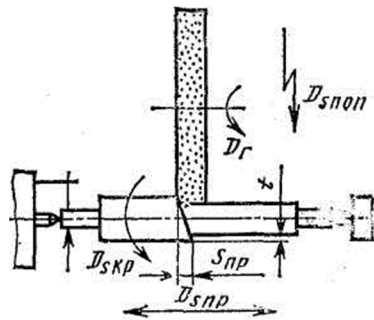


Рисунок 9 – Схема наружного круглого шлифование в центрах

Круговое движение подачи заготовки производится передней бабкой шлифовального станка, а поперечное движение подачи шлифовальным кругом на каждый ход стола или двойной ход стола вне зоны обработки. Такой способ круглого шлифования называют осциллирующим шлифованием.

В зависимости от направления поступательного движения подачи различают еще несколько видов круглого шлифования: глубинное и шлифование уступами (рисунок 10),

На круглошлифовальных станках возможна также обработка конических поверхностей с различной длиной прямых и обратных конусных поверхностей. У небольших по длине конусных поверхностей Конусная поверхность может быть обработана с достаточной точностью непосредственно шлифовальным кругом, правленным под углом α , равным $0,5$ угла конуса заготовки.

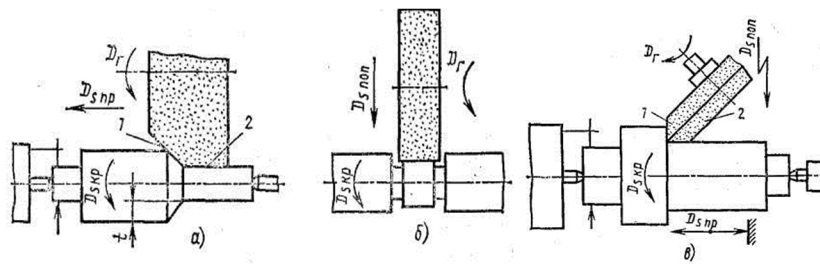


Рисунок 10 – Схемы наружного шлифования в центрах:
 а – глубинное б – врезное в – шлифование двух взаимно
 перпендикулярных поверхностей

4. Обработка заготовок на плоскошлифовальных станках.

При плоском шлифовании периферией круга (рисунок 11) обеспечивается наиболее высокая точность обработки, лучшие показатели качества обработанной поверхности, возможна обработка заготовок малой жесткости. Заготовки, обрабатываемые этим методом, устанавливают на плоском столе и закрепляют либо механически, либо, что чаще всего, — на магнитной плите. Возвратно-поступательное продольное движение подачи ($D_{сnp}$) и прерывистое движение поперечной подачи ($D_{споп}$) совершает заготовка или шлифовальный круг. Движение подачи круга на глубину резания осуществляется в крайнем положении стола по мере обработки всей плоскости.

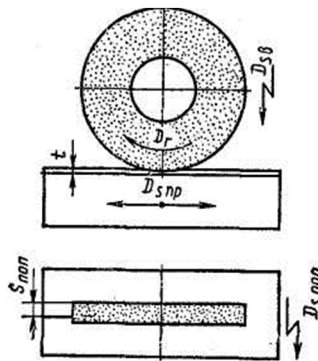


Рисунок 11 – Схема обработки заготовки на плоскошлифовальном
 станке периферией круга

Если заготовка уже ширины круга, то вертикальное движение подачи осуществляется на каждый двойной ход заготовки.

Плоское шлифование торцом круга (рисунок 12) также может осуществляться на станках, подобных плоскошлифовальному с прямоугольным и круглым столом. Но в отличие от резания периферией круга при торцовом шлифовании одновременно участвует в резании намного больше режущих элементов-зерен (большая площадь контакта). В этой связи при торцовом шлифовании выделяется существенно больше теплоты и возможны прижог и коробление тонких заготовок.

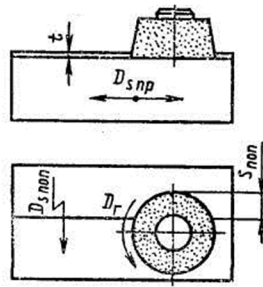


Рисунок 12 – Схема обработки торцом чашечного круга

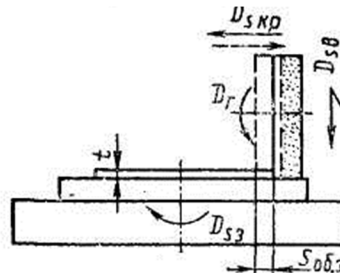


Рисунок 13 – Схема обработки заготовок периферией круга на плоскошлифовальном станке с круглым столом

Закрепление заготовок на магнитной плите обеспечивает быстрый и надежный прижим заготовок, имеющих поверхность базирования. Отжим заготовок так же прост, как и закрепление.

В тех случаях, когда форма заготовки, технология обработки или свойство материала не позволяют закреплять заготовки на магнитных столах, применяют различные механические способы крепления: упоры, болты, штифты, тиски, закрепляемые на столе станка.

2.5. Обработка заготовок на внутришлифовальных станках

Внутренним круглым шлифованием обрабатывают внутренние поверхности. Обработка производится следующими методами: шлифование с продольным движением подачи (рисунок 14, а, б), врезное шлифование с поперечным движением подачи, врезное шлифование с дополнительной осцилляцией круга (рис. 14, в), шлифование с планетарным $D_{\text{шпл}}$ движением круга (рис. 14, г). При планетарном движении шпиндель с кругом помимо главного движения совершает еще вращательное относительно оси обрабатываемого отверстия.

Метод применяют для шлифования отверстий в тяжелых корпусных заготовках.

При шлифовании внутренних отверстий диаметр шлифовального круга всегда должен быть меньше диаметра обрабатываемого отверстия, чем затрудняется внутреннее шлифование (малая жесткость шпинделя, при шлифовании глубоких отверстий, износ круга, затруднена подача СОТС).

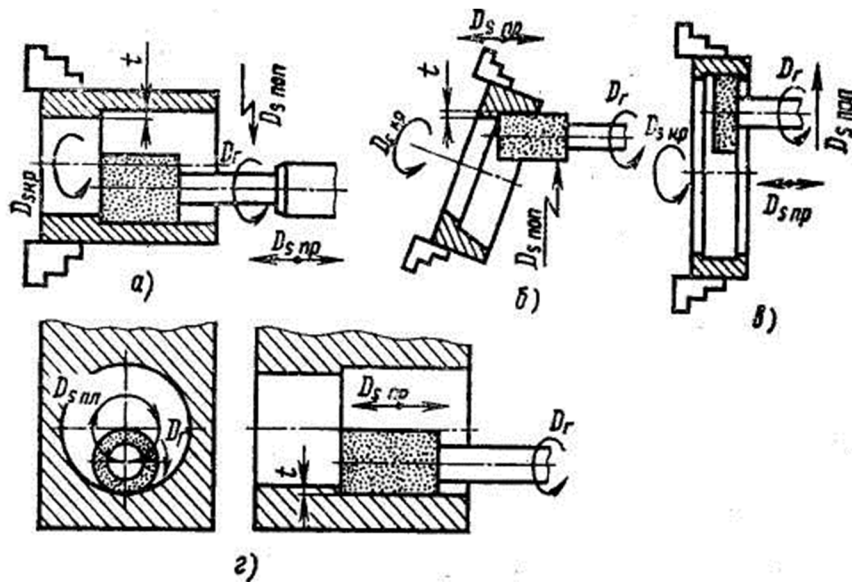


Рисунок 14 – Схемы обработки заготовок на внутришлифовальных станках

2.6.Бесцентровое круглое наружное шлифование

Сущность бесцентрового шлифования заключается в том, что заготовка в процессе обработки не закрепляется в центрах и других зажимных приспособлениях, а базируется на опорном ноже станка и ведущем круге (рисунок 15). Таким образом, возможно шлифование большими партиями не только заготовок колец, гильз, но и заготовок, имеющих большую длину и малый диаметр.

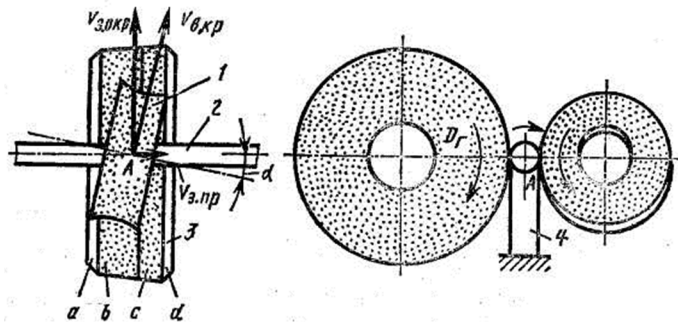


Рисунок 15 – Схема обработки на бесцентрово-шлифовальном станке

Обработка заготовки (заготовок) 2 заключается в следующем. Шлифовальный 3 и ведущий 1 круги вращаются с разной частотой. Окружная скорость шлифовального круга в 50—60 раз выше окружной скорости ведущего круга. В этом случае мгновенная окружная скорость в точке A (точка контакта) будет одинаковой для заготовки и ведущего круга.

Рабочая поверхность шлифовального круга состоит из четырех участков, каждый из которых выполняет свою функцию. Участок a — участок входа заготовки, или заборный конус. Высота этого конуса 10—30 мм. Угол его наклона способствует беспрепятственному вхождению

заготовок в зону резания с предельными значениями припуска. Основную часть круга по высоте занимает рабочий конус b , который снимает припуск с заготовки и обеспечивает равномерность его съема. Цилиндрическая калибрующая зона c обеспечивает заданный параметр шероховатости поверхности после срезания основного припуска. Длина калибрующего участка не более 110 мм. Зона d имеет обратную конусность и служит для направления заготовок после обработки, длина этого конуса не превышает 20—30 мм.

Кроме заготовок, имеющих форму тела вращения, существует большая группа заготовок, имеющих фасонные, сложные поверхности, к шероховатости и параметрам точности которых предъявляют высокие требования: зубчатые колеса, шлицевые валы, кулачки, лопатки турбин, компрессоров, фасонные резцы, профильные шаблоны, копиры и т. п.

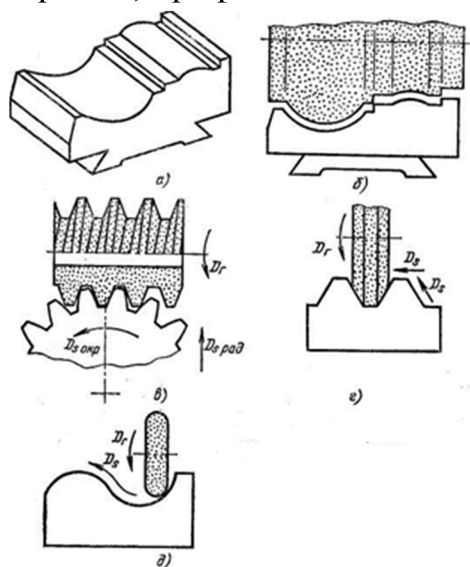


Рисунок 16 – Схема обработки фасонных поверхностей

Профильное шлифование можно осуществлять различными методами, но наиболее распространенные из них три:

- 1) метод копирования (рисунок 16, а, б), при котором профиль круга соответствует профилю детали;
- 2) метод огибания профиля на заготовке рабочей поверхностью круга за счет относительного движения обкатки (рисунок 16, в);
- 3) метод эквидистантного шлифования, при котором движение подачи круга осуществляется по траектории, эквидистантной по отношению к шлифуемому профилю (рисунок 16, г, д).

2.7.Элементы режима резания при шлифовании

Элементы срезаемого слоя при шлифовании относятся не к единичным

режущим зернам, а к их совокупности — режущей поверхности абразивного инструмента. Основными элементами режима резания при шлифовании являются: окружная скорость круга $v_{кр}$, окружная скорость (перемещения) заготовки v_3 , глубина резания t , подача S .

Скоростью (м/с) резания при шлифовании $v_{кр}$ называют линейную скорость на наибольшей окружности шлифовального круга $v_{кр} = \pi Dn$, где n — частота вращения, c^{-1} .

Скоростью перемещения заготовки при шлифовании называют: при плоском шлифовании — скорость перемещения стола, при круглом шлифовании — окружную скорость заготовки.

Шлифование	Характер обработки	Продольная подача, доли ширины круга	Окружная скорость заготовок, м/мин	Подача на глубину шлифования		
				мм/мин	мм/ход стола	мм/дв. ход стола
Врезное	Обдирочная	—	30—50	0,1—0,5	—	—
	Чистовая	—	20—40	0,05—0,20	—	—
С продольным движением подачи	Обдирочная	0,3—0,7	15—30	—	0,01—0,025	0,015—0,05
	Чистовая	0,2—0,4	20—60	—	0,005—0,01	0,005—0,01

Поперечной подачей (при плоском шлифовании) и продольной подачей (при круглом и внутреннем шлифовании) называют перемещение точки круга вдоль оси за один оборот, ход или двойной ход заготовки. Поперечную подачу измеряют в долях высоты круга H ; $S = kH$, где k — коэффициент.

Глубиной резания при шлифовании называют слой металла между обработанной и обрабатываемой поверхностью, снимаемый за 1 рабочий ход.

По таблице можно ориентировочно выбрать режимы круглого наружного шлифования.

Выбранные по таблице значения параметров режима шлифования сравнивают с паспортными данными и выбирают параметры обработки.

2.8. Силы резания при шлифовании

Снятие припуска с заготовки любым инструментом, в том числе абразивным, сопровождается действием силы P , которая отделяет лишний слой материала в виде стружки. У лезвийных инструментов (резцов, сверл, фрез довольно просто представляется воздействие силы резания P или ее составляющих ввиду явно выраженных режущих элементов, геометрических параметров инструментов, движений и т. п. У абразивного инструмента в

силу конструктивных особенностей нет единой режущей кромки.

При некоторых видах шлифования (плоское, бесцентровое и др.) хотя и происходит отделение припуска со значительными силами резания, но эти силы не оказывают существенного влияния (при оптимальных режимах обработки) на параметры качества обработанной поверхности.

Из рисунка 17 следует, что сила резания относительно заготовки расположена в процессе шлифования под определенным углом. Знание силы резания P необходимо для управления параметрами качества обрабатываемой поверхности заготовки, расчета мощности шпиндельного двигателя и др. Но измерить силу резания P с достаточной точностью не всегда возможно, а составляющие этой силы резания P_x , P_y , P_z легко могут быть измерены трехкомпонентными динамометрами в процессе шлифования. Знание составляющих силы резания позволяет судить о механизме срезания припуска и влиянии на него таких параметров, как режим обработки, обрабатываемый материал, характеристика шлифовального круга, состояние режущей поверхности абразивного круга.

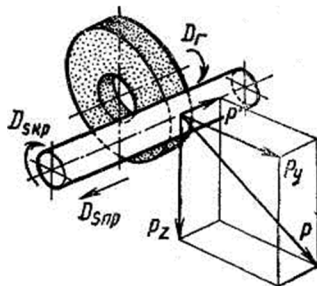


Рисунок 17 – Схема составляющих силы резания при наружном круглом шлифовании в центрах

Из рисунка 17 также следует, что кроме нормальной составляющей силы резания на заготовку еще действует касательная составляющая силы резания P_z (обычно P_z в 1,5 — 2,5 раза меньше P_y) и осевая составляющая силы резания $P_x \approx 0,5... 10$ Н. В отдельных случаях силой резания можно активно управлять путем выбора оптимальных режимов резания, режимов правки, правящих инструментов, обильной подачи СОТС.

2.9. Конструкции абразивных инструментов

Шлифовальные круги, бруски, сегменты, головки применяют для различных операций шлифования, хонингования, полирования и т. п. Ленты используют для шлифования и отделочной обработки заготовок фасонного профиля. Свободные абразивные порошки и пасты применяют при притирке и полировке.

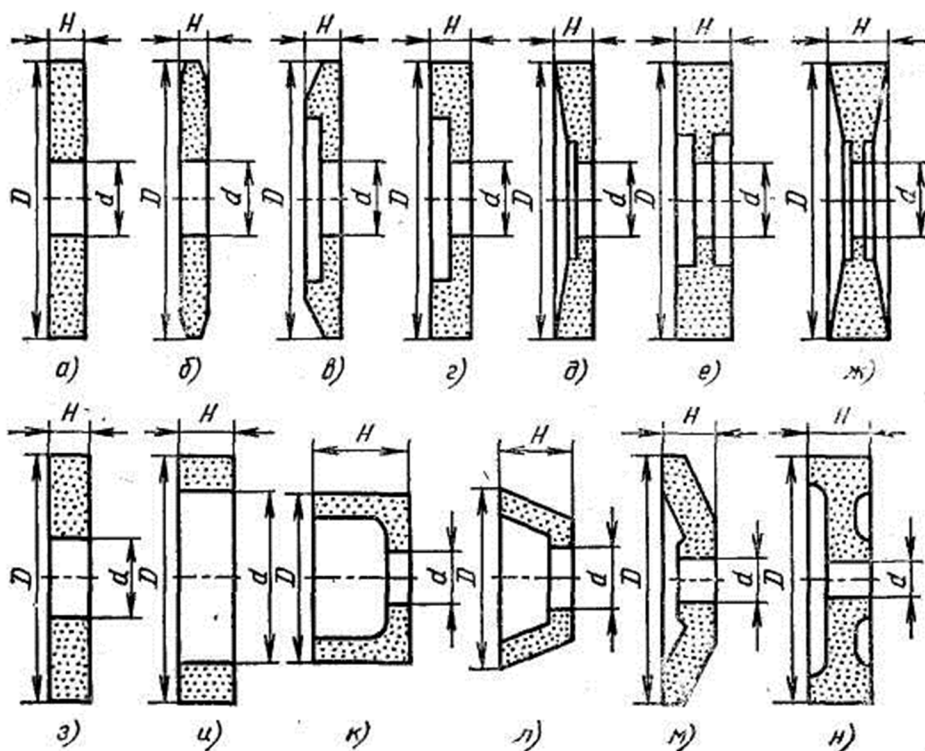


Рисунок 18 - Форма сечений шлифовальных кругов по ГОСТ 2424-83

Абразивные материалы. В качестве абразивного материала широко используются электрокорунды, карбид кремния, алмаз, кубический нитрид бора (эльбор). Алмазно-абразивной обработке подвергают самые различные поверхности и материалы. Наиболее широкое применение в машиностроении находят круги из электрокорунда и карбида кремния (рис. 18) по ГОСТ 2424—83, алмазные круги по ГОСТ 16167—80, 16172—80Е и др., а также эльборовые круги по ГОСТ 17123—79Е.

Каждая группа абразивных материалов обладает своими особенностями при обработке различных материалов: режущие свойства, износостойкость, теплостойкость, способность сопротивляться адгезионному изнашиванию и др.

Абразивный инструмент из природного и синтетических алмазов широко применяют для обработки заготовок и инструмента из твердых сплавов, стекла, керамики, камня, бурового инструмента.

Зернистость инструмента. Зернистость характеризует размер зерен основной группы. Шлифзерно сортируют специальными ситами с размером ячеек 200—16 мкм, а шлифпорошки с размером ячеек 12—3 мкм. Зернистость шлифовального материала на абразивном инструменте указывают в десятках микрометров, например зернистость 40 означает средний размер зерна 400 мкм. Мелкие зерна называют микропорошками (М63-М14) или тонкими микропорошками (М10-М5).

Твердость инструмента. Способность связки предотвращать вырывание абразивных зерен в процессе резания при сохранении инструментом характеристики в пределах установленной нормы называют *твердостью* инструмента. Чем выше степень твердости, тем прочнее связь между абразивными зернами в инструменте.

Абразивные инструменты имеют различные степени твердости — от чрезвычайно твердых (ЧТ) до чрезвычайно мягких (ЧМ), а также весьма мягкие (ВМ), мягкие (М), среднемягкие (СМ), средние (С), среднетвердые (СТ), твердые (Т) и весьма твердые (ВТ). Каждая степень твердости имеет несколько подгрупп и на маркировке круга степень твердости указывают индексом, например СТ2, ЧТ5 и т. п.

По степени твердости абразивные инструменты подразделяют на 8 групп и более чем на 20 степеней, твердости.

Структура шлифовального круга. Процентное соотношение трех основных фазовых составляющих (зерен, связки и пор) в объеме абразивного инструмента называют структурой. Структуры абразивных инструментов обозначают номерами от 0 до 20. Структуры подразделяют на закрытые (1-4), средние (5-8) и открытые (9-12). Структуры 13-20—высокопористые. Например, у инструмента со структурой 0 объемная концентрация зерен 62%, а со структурой 20—22%. В настоящее время существует 21 структура

В настоящее время в промышленности применяют алмазные и эльборовые инструменты с концентрацией 25, 50, 100, 150 %. Но под 100 %-ной концентрацией алмаза или эльбора понимают 25 % объема абразивной составляющей, остальные 75 % — связка, поры, наполнители. При 150 %-ной концентрации 37,5 % зерен алмазов или эльбора и т. д.

Основные операции предварительного и окончательного шлифования производят инструментами средних (5-8) структур. С повышением номера структуры расстояние между зернами увеличивается, лучше отводится стружка, СОТС легче проникает в зону резания, можно работать с несколько повышенными режимами резания.

Связка инструментов. Абразивные зерна в теле инструмента должны быть связаны между собой, если этот инструмент представляет собой круг, брусок, сегмент и т. п. Удерживая зерна, связка должна удовлетворять определенным требованиям: быть хрупкой (легко разрушаться), вязкой (выдерживать большие колебания сил резания и не разрушаться), очень прочной (удерживать абразивные зерна до их полного изнашивания) и т. д.

К органическим связкам относятся: бакелитовая (Б), в основе которой — жидкий или порошкообразный бакелит с некоторыми наполнительными и увлажняющим компонентами; вулканитовая (В), в основе которой — жидкий

каучук. Применяя ускорители затвердевания, а также некоторые добавки, получают абразивные круги на вулканитовой связке с широким диапазоном эксплуатационных свойств (упругость, плотность). Шлифовальные круги на вулканитовой связке позволяют работать до скорости 75 м/с.

К керамическим (минеральным) связкам (К) относятся многокомпонентные соединения, включающие в себя огнеупорную глину, борное стекло, тальк, полевой шпат и некоторые другие элементы. Керамическая связка характеризуется высокой хрупкостью. Круги на керамической связке могут работать в режиме частичного «разрушения», т. е. самозатачивания (например, круги твердостью М и ВМ).

Классы точности и неуравновешенности шлифовальных кругов.

Шлифовальные круги изготовляют трех классов точности: АА, А, Б. В зависимости от допустимых неуравновешенных масс для абразивных кругов по ГОСТ 3060—86 установлено четыре класса неуравновешенности: 1, 2, 3, 4. В маркировке инструмента класс неуравновешенности кругов указывают после класса точности. Маркировка алмазных и эльборовых кругов несколько отличается от маркировки абразивных. После обозначения геометрических размеров круга следует его характеристика, например АС4 100/80 150 М15, где АС4 — материал зерен (алмаз синтетический); 100/80 — интервал зернистости, мкм; 150%-ная условная концентрация алмазов (за 100%-ную концентрацию принимают четверть объема алмазоносного слоя, т. е. 25 % алмазов в 1 см³ алмазоносного слоя); М15 — материал связки (М — металлическая).

Изнашивание и стойкость кругов. Изнашивание проявляется не только в затуплении режущих кромок, но и в выкрашивании зерен, заполнении пор продуктами шлифования и в износе наиболее нагруженных частей режущей поверхности круга.

Правильно подобранный круг работает в частичном режиме самозатачивания, т. е. изношенные зерна частично скалываются или вырываются из режущей поверхности круга, образуя или обнажая новые режущие кромки. Ввиду того, что невозможно (из экономических соображений) полное самозатачивание, периодически необходимо восстанавливать режущую способность круга и профиль его режущей поверхности. Это достигается правкой, при которой производится снятие «дефектного слоя» абразивного инструмента и возобновление его режущих свойств. Период стойкости абразивных кругов составляет 5—60 мин.

Пример. Шлифовальный круг с маркировкой

ЧАЗ ЭБ46 СМ2 К 6 ПП 450Х63Х127 35 м/сек

имеет следующую характеристику:

ЧАЗ - завод-изготовитель — Челябинский абразивный завод;

ЭБ - абразивный материал — электрокорунд белый; 46 — № зернистости;

СМ2 - твердость круга — средней мягкости второй;

К - керамическая связка;

6 - структура;

ПП - форма круга — плоский прямого профиля;

450 — наружный диаметр,

63 — высота, мм, **127** — внутренний диаметр, мм;

35 м/сек - предельная скорость вращения круга

Контрольные вопросы:

1. На какие группы подразделяются технологические процессы изготовления зубчатых колес?
2. Какова особенность профиля зуборезного инструмента, работающего по методу копирования и по методу обкатки?
3. Чем вызвана низкая производительность зубонарезания по методу копирования (с помощью дисковых и пальцевых фрез)?
4. Почему одним и тем же инструментом, работающим по методу обкатки, можно нарезать колеса данного модуля с разными числами зубьев?
5. Как зависит величина основного шага нарезаемого колеса от станочного межосевого расстояния?
6. Какое относительное движение совершают centroиды нарезаемого колеса и исходного контура?
7. Какую обработку называют шлифованием?
8. Какой инструмент применяют при шлифовании?
9. Какие движения необходимы для формообразования поверхностей на круглошлифовальном и плоскошлифовальном станках?
10. Назовите основные узлы кругло- и плоскошлифовального станков и объясните их назначение.
11. Какие элементы входят в маркировку шлифовального круга?
12. Какие способы установки и закрепления заготовок применяют на кругло- и плоскошлифовальных станках?
13. Какие поверхности обрабатывают на круглошлифовальном станке с продольной подачей и какие поверхности – с поперечной подачей?
14. Какие поверхности обрабатывают на плоскошлифовальных станках?
15. От каких параметров зависит выбор твердости шлифовального круга?